

PAT-NO: JP404005538A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 04005538 A

TITLE: SIGNAL ANALYZING METHOD USING WALSH TRANSFORMATION

PUBN-DATE: January 9, 1992

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

GAN, GIYOKUREI

SHIMOSATO, TARO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

ONO SOKKI CO LTD

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP02105888

APPL-DATE: April 21, 1990

INT-CL (IPC): G01M017/00, G06F015/332

US-CL-CURRENT: 702/124, 702/FOR.103

ABSTRACT:

**PURPOSE:** To speedily and accurately extract a change in the state of a system, etc., by calculating the index in a sequence area according to fast Walsh transformation and detecting its variation.

**CONSTITUTION:** The time history signal of a signal to be analyzed is Walsh-transformed WT (101) and then a Walsh spectrum W is found (102); and the index of at least one of a center alternation number Sc and an RMS alternation number Srms which are defined according to the Walsh spectrum W, and the variation factor K1 and kurtosis factor K2 of the spectrum distribution is calculated (103) and the feature of the signal to be analyzed is extracted from variation in the index.

**COPYRIGHT:** (C)1992,JPO&Japio

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-5538

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成4年(1992)1月9日

G 01 M 17/00  
G 06 F 15/332

A 7204-2G  
S 6798-5L

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 ウォルシュ変換を用いた信号解析方法

⑯ 特 願 平2-105888

⑰ 出 願 平2(1990)4月21日

特許法第30条第1項適用 平成元年10月31日、社団法人日本機械学会発行の「機械力学部門講演会講演概要集」に発表

⑱ 発 明 者 顔 玉 玲 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1 慶応義塾大学理工学部内

⑲ 発 明 者 下 郷 太 郎 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1 慶応義塾大学理工学部内

⑳ 出 願 人 株式会社小野測器 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

㉑ 代 理 人 弁理士 鎌田 久男 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

ウォルシュ変換を用いた信号解析方法

2. 特許請求の範囲

被解析信号の時刻歴信号をウォルシュ変換したのち、ウォルシュスペクトルを求め、そのウォルシュスペクトルに基づいて定義された中心交番数、RMS交番数、スペクトル分布の変動因子およびとがり度因子の少なくとも1つの指標を演算し、その指標の変化から前記被解析信号の特徴を抽出するように構成したウォルシュ変換を用いた信号解析方法。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、振動系の状態監視などに使用される信号の解析方法に関し、さらに詳しくいえば、信号解析のためにウォルシュスペクトルに基づく新しい指標を演算するウォルシュ変換を用いた信号解析方法に関するものである。

(従来の技術)

システムが劣化すると、稼働中の振動信号が時間領域および周波数領域において変化する場合が多い。

例えば、運動する機械要素間のすき間で衝撃が発生したり、あるいは軸受や歯車の中に衝撃が発生したときには、振動が激しくなる。その場合に、時間領域においてはパルス状の加速度が発生し、周波数領域においては高周波成分が増加する。

振動系の状態を監視するために、通常行われる方法は、パワースペクトル解析に基づいて、そのスペクトルの特徴の変化を抽出することである。

スペクトル分布の特徴を表すのに有効なパラメータの1つとして、平均周波数があげられる。平均周波数とは、単位時間あたりに正の傾斜で零レベルを交差する平均回数をいい、平均値が零をとる定常エルゴード不規則過程の場合は、平均周波数  $f_a$  は、次式で与えられる。

$$f_a = \left\{ \int_0^{\infty} f^2 S(f) df / \int_0^{\infty} S(f) df \right\}^{1/2} \quad \dots (1)$$

ただし、 $f$ は周波数、 $S(f)$ はパワースペクトル密度関数である。

前述したように、システムの故障などによって、高周波成分が出現すると、この平均周波数  $f_0$  は高くなる。

この平均周波数  $f_0$  は、故障の診断に効率的な1つの指標であり、通常2つの計算方法が知られている。すなわち、高速フーリエ変換 (FFT) に基づいてパワースペクトルから解析する方法、および、時刻歴とその微分過程の信号から直接求める方法 (Time Domain Operation) である。後者による計算方法は、次式で与えられる。

$$f_0 = \frac{\left\{ \sum_{i=0}^{N-1} \dot{x}^2(i) \right\}^{1/2}}{\left\{ \sum_{i=0}^{N-1} x^2(i) \right\}^{1/2}} \quad \dots(2)$$

ここで、

$$\dot{x}(i) = \frac{x(i+1) - x(i)}{\Delta t}, \quad (i=0, 1, \dots, N-1)$$

(発明が解決しようとする課題)

しかし、前者の方法は、複雑な複素数計算を含むので、時間がかかり、後者の方法は、微分信号を求めるために、離散的なデジタル演算では十

分に正確な結果が得られない。

本発明の目的は、ウォルシュスペクトルに基づいた指標を演算することにより、被解析信号の特徴を高速かつ正確に抽出することができるウォルシュ変換を用いた信号解析方法を提供することである。

(課題を解決するための手段)

前記課題を解決するために、本発明によるウォルシュ変換を用いた信号解析方法は、被解析信号の時刻歴信号をウォルシュ変換したのち、ウォルシュスペクトルを求め、そのウォルシュスペクトルに基づいて定義された中心交番数、RMS交番数、スペクトル分布の変動因子およびとり度因子の少なくとも1つの指標を演算し、その指標の変化から前記被解析信号の特徴を抽出するように構成してある。

(実施例)

以下、図面等を参照して、実施例につき、本発明を詳細に説明する。

第1図は、本発明によるウォルシュ変換を用い

た信号解析方法の実施例を説明するための図である。

この信号解析方法は、第1図に示すように、被解析信号の時刻歴信号をウォルシュ変換  $W_T$  したのち (101)、ウォルシュスペクトル  $W$  を求め (102)、そのウォルシュスペクトル  $W$  に基づいて定義された中心交番数  $S_c$ 、RMS交番数  $S_{rms}$ 、スペクトル分布の変動因子  $K1$  およびとり度因子  $K2$  の少なくとも1つの指標を演算し (103)、その指標の変化から被解析信号の特徴を抽出するようにしたものである。

被解析信号としては、システムから発生する振動信号、例えば、軸受のハウジングに設けられた加速度計によって検出された振動加速度などを例にあげることができる。

ウォルシュ変換は、被解析信号をウォルシュ関数列に展開するものである。ウォルシュ関数列は、零交差数の順番に並べた方形波系列であり、最初の4個のウォルシュ関数  $Wal(i, l)$  を例にすれば、第2図(a)~(d)に示すような関数列となる。このよ

うに、ウォルシュ変換は、2値信号であるので、主要な演算が加減算のみとなり、三角関数系を用いるフーリエ変換と比較して、ハードウェア化が容易であり、コンピュータ処理をするうえからも圧倒的な高速度性を有する。

ウォルシュスペクトルは、シーケンス領域における信号の分布を表すものであり、フーリエスペクトルと同様に、必要な情報をウォルシュスペクトルから得ることができる。N-ポイントのウォルシュ変換の場合には、 $(N/2+1)$ -ポイントのウォルシュスペクトル  $W(s)$  が、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} W(0) &= W_T^{-1}(0) \\ W(1) &= W_T^{-1}(1) + W_T^{-1}(2) \\ W(2) &= W_T^{-1}(3) + W_T^{-1}(4) \\ &\vdots \\ W(N/2-1) &= W_T^{-1}(N-3) + W_T^{-1}(N-2) \\ W(N/2) &= W_T^{-1}(N-1) \end{aligned} \quad \dots(3)$$

ただし、 $W_T(s)$  は時刻歴信号のウォルシュ変換である。すなわち、

$$W_T(s) = \sum_{i=0}^{N-1} Wal(s, i) X(i) \quad \dots(4)$$

( $s=0,1,2,\dots,N-1$ )

ただし、 $X(i)$  ( $i=0,1,2,\dots,N-1$ ) はシステム出力のサンプル値である。

つぎに、シーケンス領域でのウォルシュスペクトルの変化を高速に検出するために、つぎのような中心交番数  $S_c$  と、RMS(Root Mean Square) 交番数  $S_{rms}$  なる指標を定義する。

ここで、シーケンス領域とは、ウォルシュ変換領域である。このときの交番数は周波数に類似しており、単位時間あたりの零交差数の  $1/2$  が平均数として定義される。

中心交番数  $S_c$  :

$$S_c = \frac{\sum_{i=1}^N s_i \cdot W(s_i)}{\sum_{i=1}^N W(s_i)} \quad \dots(5)$$

RMS交番数  $S_{rms}$  :

$$S_{rms} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N s_i^2 \cdot W(s_i)}{\sum_{i=1}^N W(s_i)} \right\}^{1/2} \quad \dots(6)$$

ただし、 $s_i$  は交番数、 $W(s_i)$  はウォルシュスペクトルである。

これらの無次元因子が運転状態を示すものとして用いられる。システムの状態が異常になり、パルス状の振動が出現し、高周波成分が増加すると、高次元モーメントは低次元モーメントよりも急に増大し、定義した各因子が大きな値をとるので、それらの因子の変化から、被解析信号の特徴を抽出することができる。

本件発明者等は、このウォルシュ変換を用いた信号解析方法により、コンピュータシミュレーションを行った。

この実施例では、定常正規白色雑音入力を用いる非線形システムの出力のシミュレーションデータを用いて、指標の演算を行った。これらのモデルは、第3図に示すように、1自由度系であり、衝突モデルと、変位の3乗で表されるダフニング系モデルである。前者の場合には、大振幅振動により質点がより剛性の高い外壁に衝突するような場合を想定している。サンプリング数  $N$  は、16384 ( $=2^{14}$ ) で、サンプリング間隔  $\Delta t$  は、0.1秒である。

これらの指標を物理的な概念に対応させると、

中心交番数  $S_c$  がスペクトル図形の中心を表し、RMS交番数  $S_{rms}$  が回転半径を表す。そして、高い交番数成分が多く存在すればするほどその中心や回転半径が大きくなる。

故障の診断の場合には、無次元因子がよく使われるが、これらは故障情報に対しては敏感で、運転環境に対しては敏感でない特徴を有する。そこで、式(5)、(6)で定義した指標のほかに、スペクトル分布の変動因子  $K1$  と、とがり度因子  $K2$  の2つの無次元因子を次式で定義する。

変動因子  $K1$  :

$$K1 = \frac{\sum_{i=1}^N s_i^2 \cdot W(s_i)}{\left\{ \sum_{i=1}^N s_i \cdot W(s_i) \right\}^2} \quad \dots(7)$$

とがり度因子  $K2$  :

$$K2 = \frac{\sum_{i=1}^N s_i^4 \cdot W(s_i)}{\left\{ \sum_{i=1}^N s_i^2 \cdot W(s_i) \right\}^2} \quad \dots(8)$$

これらの非線形システムにおける無次元非線形パラメータ  $e$  (非線形量と入力レベルによって決まる)が増加すると、システムの等価剛性が高くなるから、出力の高周波成分が大きくなる。したがって、非線形パラメータ  $e$ が増加すると、出力信号の中心交番数など先に定義した指標が大きくなることが予想される。

それぞれの非線形パラメータ  $e$  に対応する出力の時刻歴は、第4図(衝突モデル)、第5図(ダフニング系モデル)に示されている。これらのデータから指標を求めた結果は、表1と表2に示されている。

表1(衝突モデル)

$e$	$S_c$	$S_{rms}$
0.1	863.60009	1471.0623
0.2	912.12341	1543.4020
0.3	1011.0892	1682.4420
0.4	1124.9481	1834.0672
0.5	1216.9416	1955.1214
$e$	$K1$	$K2$
0.1	.28064987	3.8425674
0.2	.27781355	3.5257480
0.3	.35825548	4.0261411
0.4	.45374152	4.5453920
0.5	.56598985	5.2149591

表2 (ダフニング系モデル)

$e$	$S_c$	$S_{rms}$
0.1	1132.8027	1829.3317
0.2	1251.2861	1980.6639
0.3	1288.9797	2031.1795
0.4	1351.9367	2110.0283
0.5	1427.9454	2207.0627

$e$	$K1$	$K2$
0.1	.42201290	4.2946014
0.2	.49023423	4.5274710
0.3	.65214741	5.8237557
0.4	.70134580	5.9682445
0.5	.72636604	5.8281750

これらの計算結果をもとにして、第6図(衝突モデル)、第7図(ダフニング系モデル)に示すように、無次元非線形パラメータ $e$ の変化に対する、4つの指標 $S_c$ 、 $S_{rms}$ 、 $K1$ 、および $K2$ の分布曲線を得た。これらの図においては、 $e=0.1$ のときの値を0とおいて、そこからの増加率を表してある。

これらの曲線から、非線形パラメータ $e$ が増加すると、2つのモデルとも、変動因子 $K1$ の増加が極めて大きくなるのがわかる。つぎに、とがり度因子 $K2$ の変化が大きく、特に、ダフニング

系モデルにおいて敏感であるが、衝突モデルにおいても、非線形パラメータ $e$ が大きい値をとるときに、明確な増加傾向を示している。また、中心交番数 $S_c$ は、2つのモデルとも、RMS交番数 $S_{rms}$ よりも敏感であることがわかる。

したがって、非線形モデルの特性またはその非線形パラメータの大きさに応じて、ここで定義した4つの指標のうちもっとも敏感な指標を通宜選択し、1つまたは2つ以上組み合わせて使用すればよい。

ここで、本発明の解析方法と、従来の方法によるシミュレーション結果を比較する。

第8図は、非線形パラメータ $e$ の変化に対するRMS交番数 $S_{rms}$ と、FFTによって演算した平均周波数 $f_a$ の増加率を示したものである。RMS交番数 $S_{rms}$ は、平均周波数 $f_a$ に対応するものであるが、平均周波数 $f_a$ よりも明らかに敏感であることがわかる。

これらの結果より、非線形パラメータが増大するとともに、シーケンス領域において、これらの

指標の値が増大し、システム状態の監視のために有効であることが明らかになった。

#### (発明の効果)

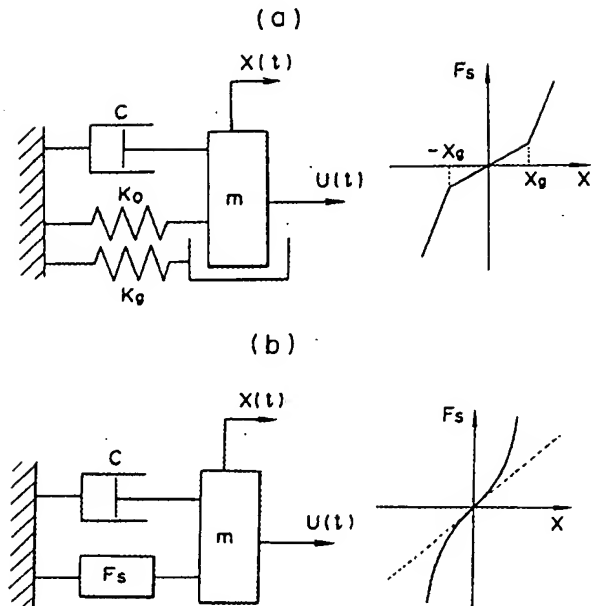
以上詳しく説明したように、本発明によれば、高速ウォルシュ変換にもとづいて、シーケンス領域における指標を演算して、その変化を検出するので、システムの状態の変化などを高速かつ正確に抽出することができる、という効果がある。

#### 4. 図面の簡単な説明

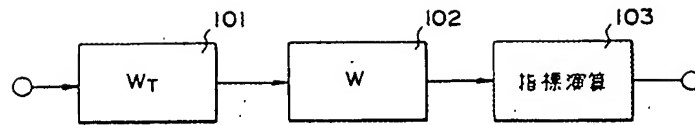
第1図は、本発明によるウォルシュ変換を用いた信号解析方法の実施例を示したブロック図、第2図は、ウォルシュ変換を説明するための図、第3図は、シミュレーションに使用した衝突モデルとダフニング系モデルを示した図、第4図および第5図は、それらのモデルに対応する時刻歴信号を示した図、第6図～第8図は、シミュレーション結果を示した図である。

代理人 弁理士 鎌田 久男  
弁理士 河野 茂夫

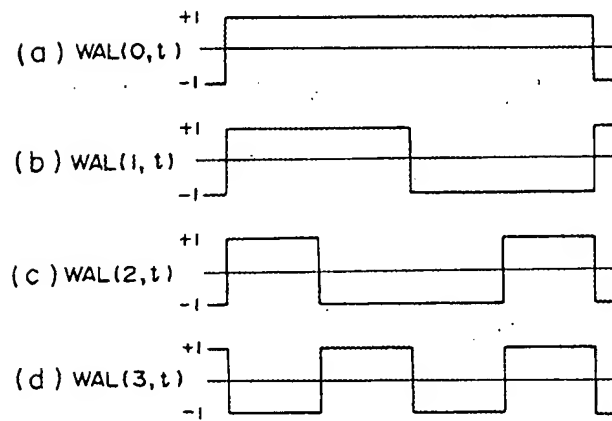
第3図



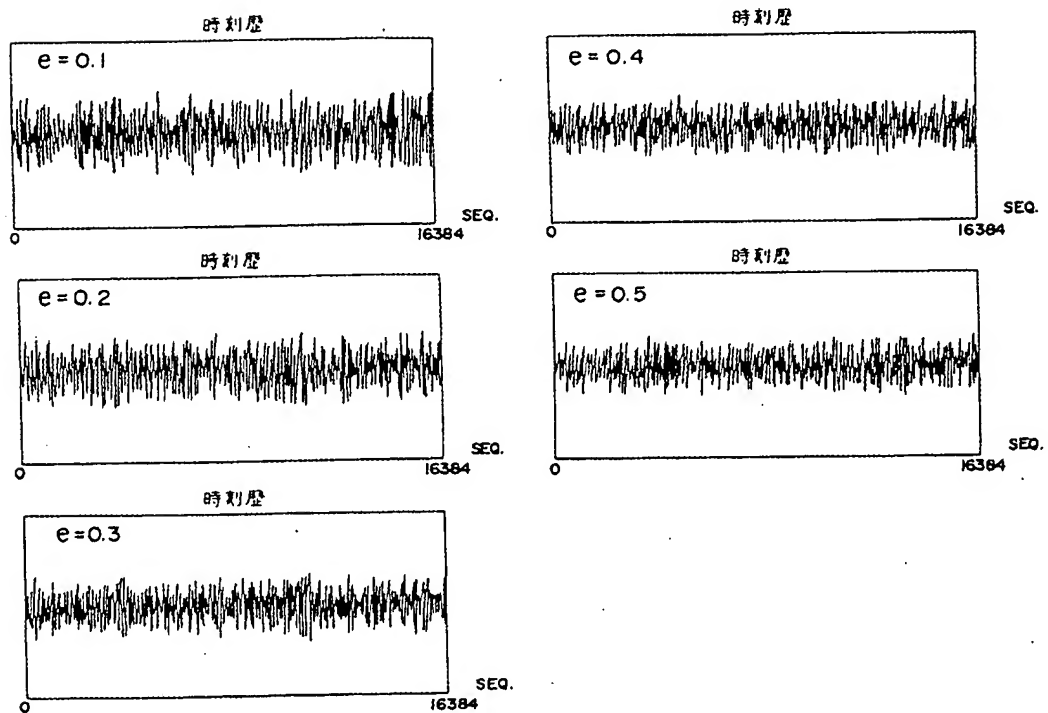
第 1 図



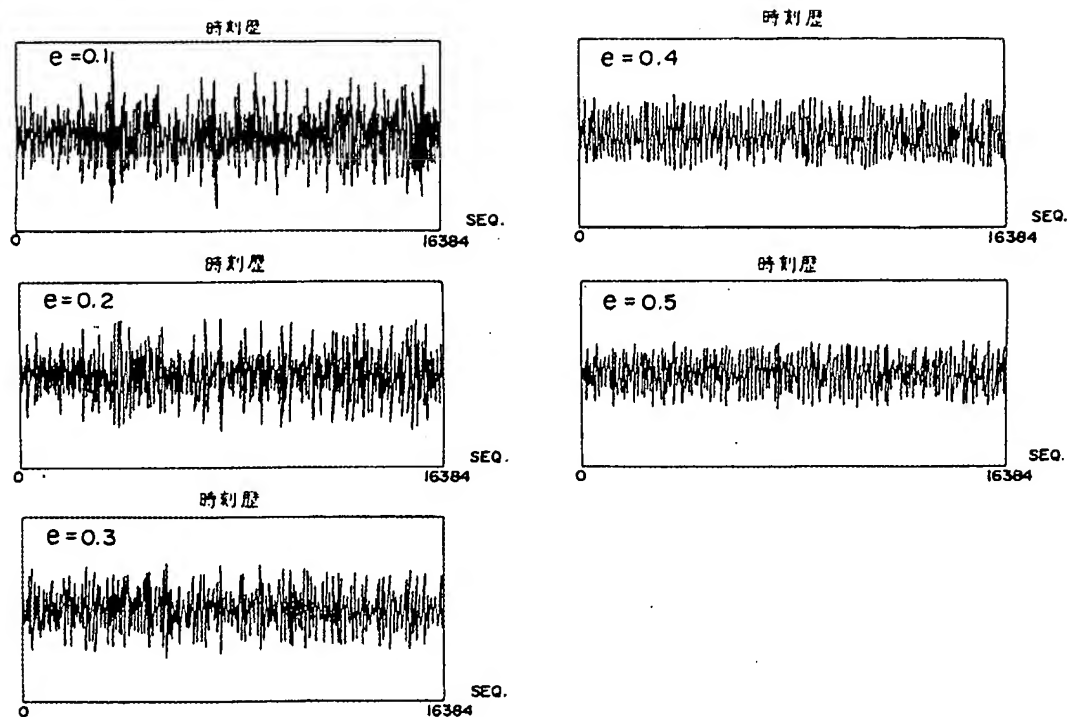
第 2 図



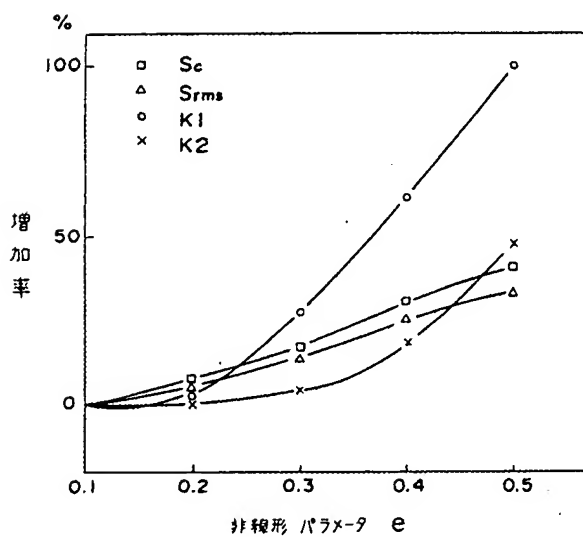
第 4 図



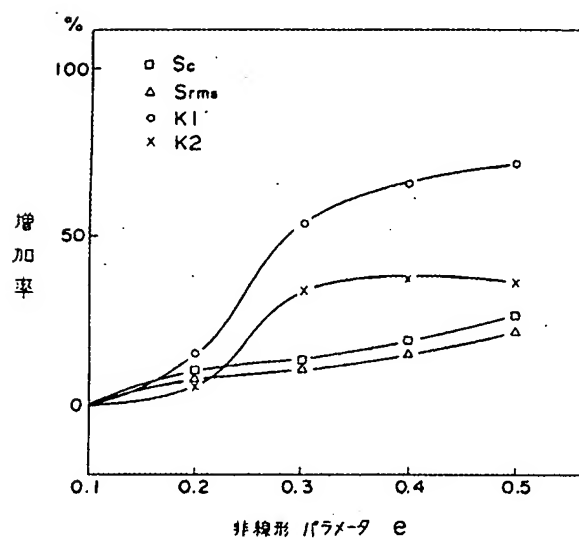
第 5 図



第 6 図



第 7 図



第 8 図

